T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	気象モデル・工学LESハイブリッド解析による極端気象下の強風・突風の再現と建築物被害推定
Title(English)	
著者(和文)	川口真晴
Author(English)	Masaharu Kawaguchi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11523号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:田村 哲郎,坂田 弘安,肖 鋒,佐藤 大樹,大風 翼
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11523号, Conferred date:2020/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

（博士課程）

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第　　号		学位申請者氏名		川口　真晴	
論文審査 審査員		氏　名	職　名		氏　名	職　名
	主査	田村　哲郎	教授	審査員	大風　翼	准教授
	審査員	坂田　弘安	教授			
		肖　鋒	教授			
		佐藤　大樹	准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は，「気象モデル・工学 LES ハイブリッド解析による極端気象下の強風・突風の再現と建築物被害推定」と題し，以下の６章から構成されている．

第 1 章「序論」では，近年の台風・竜巻の極端気象と建築物被害の実態を述べ，このような極端気象に対する数値解析による耐風性能評価において，気象場に由来する強風や突風現象の構造を再現することの必要性を示している．その上で，本研究では，第一に気象モデル解析に基づいて建築空間の風速場・圧力場を解析できる LES（Large Eddy simulation）の手法を確立させること，第二に提案手法を近年の顕著な台風・竜巻事象に適用して，気象場の影響を受けた市街地でのピーク風速・風圧の発生について明らかにすること，さらに本手法が，現行の建築物の耐風性能の基準の妥当性検討や竜巻等の被害推定，突風荷重に対する設計基準の策定等に有用であるかを示すことを目的としている．

第 2 章「気象モデル・工学 LES ハイブリッド解析手法の提案」では，気象場を考慮した建築空間の風速場・圧力場の解析手法として，気象モデルによる気象場解析，気象モデルに対する高周波成分の再生成計算，建築空間の階層直交格子系 LES の 3 段階からなる「気象モデル・工学 LES ハイブリッド計算」の数理システムを提示した．この中で，耐風性能評価を行う上で課題となる気象モデルで発生する高周波成分減衰への対策として，極端気象の実気象場への適用を念頭に，従来の気象場の風速場高周波成分の再生成計算手法を温熱場の影響を考慮できる形に定式化の拡張を行っている．

第 3 章「高周波成分再生成計算の検証」では，第 2 章でハイブリッド手法に導入された温熱の影響を考慮した気象場に再生成される変動成分の性質を対流境界層において検証した．新たな定式化によって，気象場の比較的高周波の変動に基づいてより微細な風速と温位の構造の生成が行われ，コルモゴロフの-5/3 乗則に従うスペクトルから，気象場の構造を保持したまま，適切な乱流としての性質を持つ高周波成分が付加されることを確認している．

第 4 章「実大気境界層の強風への手法適用」では，現行基準で最も強い風の主たる成因として想定される台風の境界層型強風場に着目し，2012 年台風 4 号を対象に，気象モデル WRF/WRFLES による台風再現性の検証を行った上で，顕著な被害をもたらした 2018 年台風 21 号に対して，提案したハイブリッド計算によって大阪市市街地が受けた被災状況が推定されている．気象場の大規模な筋状構造や鉛直循環などの気象場の組織構造による地表付近の風速の変動の影響を再現し，本手法により市街地内部でのピーク風速・風圧をより正確に推定が可能であることを示している．その上で気象場の影響を含む市街地での乱れについて統計的知見を整理している． 10 分間の風速の平均値と最大瞬間値からは，地上での観測や被害と比較的良い対応や，また地表と高層建築物高さでの顕著な強風の発生分布の特徴が確認された．また解析結果の一部で告示に示された平均風速値を超過するなど現行の基・規準との比較が示され，本手法が台風等強風の安全性の検討において有効であると判断されている．さらに風圧により高層階窓が破損した建築物も含めて市街地の高層建築物について表面圧力を解析した．今回の解析結果から被害例における荷重の推定値と設計値との対応が吟味され，高層位置での過大荷重を確認できる一方，必ずしも被害窓では設計値を明確に上回る解析結果を示していない。経年劣化などを考えると被害要因の特定は容易ではなく，また気象場等の不確実性なども考慮する必要性も含め被災推定に関する今後の方向性を示した．

第 5 章「局地的突風を伴う極端現象への手法適用」では，将来の突風荷重に対する設計の基・規準策定における基礎的な知見を提示することを目的に，ハイブリッド手法により気象モデルでの竜巻の現実的な構造に基づく，実スケールの建築空間での解析が実施されている．前半では，地形や建築物の地表面の変化による，実環境中の竜巻の渦構造や運動の変化，最大瞬間風速分布形成，建築物における非定常負圧の形成に関する知見が示され，竜巻直下の建築物における外装材のピーク風圧設計値との比較が示されている．後半では，2012 年つくば竜巻で被災した北条地区での建築物の被災状況を

再現する解析が実施された．竜巻中心に向かって周辺建物から伸びる縦渦により建築物の高さ付近での顕著な強風構造が形成され，住宅地の竜巻経路中心で発生した風速 60 m/s 以上，圧力-55 hPa 以下の値が連続分布し，ピークは 80 m/s，-80 hPa に達することが具体的に示され，竜巻下の建築空間での安全性を検討する上で重要な資料を提示している．また住宅地での最大瞬間風速分布により被害を推定した結果，おおむね実際の骨組と外装材の被害の特徴をとらえており，また被害の推定結果の精度を上げるために検討すべき事項について述べられている．また更に木造住宅と集合住宅外装材の顕著な被害に対して，個別の建築物の実被害プロセスについても推定された．以上，本手法は様々な竜巻の被災推定へ適用でき，具体的な設計用突風荷重を設定する上での資料を提示できるものと判断される．

第 6 章の「結論」では本研究で得られた成果を総括し，今後の課題・展望を述べている．

以上を要するに，建築物の耐風性能の評価に気象場の影響を導入する LES 解析手法が確立され，提案手法による近年の実事象の解析から，建築基準の安全性の議論を行う目的に資する気象場を考慮した台風の強風時の実市街地におけるピーク風速・風圧の性状，および突風現象の風荷重策定の基礎資料となりうる地表付近の突風と建築物への突風荷重に関する知見が得られた．

本研究成果は，極端気象による被害の推定手法として都市・地域防災などに展開可能であると判断され，得られた知見については将来の建築物の耐風性能評価が正確になり，また設計基準等の検討において大いに貢献するものと考えられる．従って，博士（工学）の学位論文として十分に価値のあるものと認められる．

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。